

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра інформаційно-вимірювальної техніки

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«___» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Метрологія та вимірювальна
техніка»**

спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно вимірювальна техніка»

на тему: «Цифровий люксметр з системою позиціонування»

Виконав:

студент IV курсу, групи ВМ-61-1

Грижак Андрій Петрович _____

Керівник:

Доцент, к.н.т, доцент,

Мокійчук Валентин Михайлович _____

Рецензент:

Професор, д.т.н., професор,

Шевченко Костянтин Леонідович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДП ХХХХ. 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	54	
3	A1	ВМ61104.201111.001 ТЗ	Технічне завдання	8	
4	A1	ВМ61104.201111.001 Е1	Схема електрична структурна	1	
5	A1	ВМ61104.201111.001 Е2	Схема електрична функціональна	1	
6	A1	ВМ61104.201111.001 Е3	Схема електрична принципова	1	

				ДП ВМ61104.201111.001 ВП		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Грижак А. П.			Відомість дипломного проекту	Лист 1	Листів 1
Керівн.	Мокійчук В. М.					
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ІВТ Гр. ВМ-61-1	
Н/контр.						
Зав.каф.						

Анотація

У дипломному проєкті розроблено інформаційно-вимірювальну систему. Були розглянуті сучасні існуючі рішення та проаналізовані їх технічні характеристики та можливості. Було обрано найбільш раціональні технічні компоненти та програмне забезпечення, яке має необхідну точність та простоту використання. Був розроблений алгоритм який забезпечує надійну роботу інформаційно-вимірювальної системи

Abstract

An information-separate system has been developed in the diploma project. Modern existing solutions were considered and their technical characteristics and capabilities were analyzed. The most rational technical components and software that have the necessary accuracy and ease of use were selected. An algorithm was developed that ensures reliable operation of the information and measurement system.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ІВТ

_____ проф. Володимир ЄРЕМЕНКО

" ____ " _____ 2020 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт

«Цифровий люксометр з системою позиціонування»

ВМ61104.201111.001 ТЗ

УЗГОДЖЕНО:

Керівник дипломного проєкту

Доцент, к.т.н., доцент
(Посада)

Мокийчук Валентин Михайлович
(Прізвище І.ПБ.)

" ____ " _____ 2020 р.

Дипломник:

Ст. гр. ВМ-61-1

Грижак Андрій Петрович
(Прізвище І.ПБ.)

" ____ " _____ 2020 р.

Залікова книжка ВМ-61-1-04

Київ 2020

1 НАЙМЕНУВАННЯ ТА ГАЛУЗЬ ВИКОРИСТАННЯ

1.1.1 Цифровий люксометр з системою позиціонування.

1.1.2 Галузь використання – рослинництво та різні виробничі та промислові приміщення.

2 ПІДСТАВА ДЛЯ РОЗРОБКИ

Даний проєкт виконується на основі завдання на дипломне проєктування на тему “Цифровий люксометр з системою позиціонування” затвердженого кафедрою інформаційно-вимірювальної техніки від 05 лютого 2020 р.

3 МЕТА РОЗРОБКИ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ

3.1.1 Метою розробки є створення базової інформаційно-вимірювальної системи на основі Arduino UNO.

3.1.2 Задачі системи наступні: покращення системи регулювання освітлення у рослинництві та у виробничих та промислових приміщеннях.

3.1.3 Призначення системи: дана система знайде призначення при регулюванні якості освітлення у рослинництві та різного роду промислових та технічних приміщеннях.

4 ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

Джерелами розробки є друковані видання науково-технічної літератури, довідкові матеріали, державні стандарти, інформаційні ресурси мережі Internet, офіційні технічні документи виробника електронних компонентів(datasheet).

5 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

5.1 Вимоги до експлуатаційних технічних та метрологічних характеристик

5.1.1 Технічні і метрологічні характеристики.

- Вимірювана величина – освітлення у люксах(lx).
- Діапазон вимірювання освітленості: 0 – 65535 lx
- Межа допустимої основної зведеної похибки вимірювання – 0.5%.

5.1.2 Вимоги до кліматичного використання та транспортування.

Нормальні умови використання відповідно до ГОСТ 15150-69 наведено у таблиці 3.5.1

Таблиця 5.1 Нормальні умови використання

Величина, що впливає	Номінальні значення та їх відхилення
Температура навколишнього середовища, °C	25±10
Відносна вологість, %	90±2
Атмосферний тиск, kPa	86...106

Робочі умови експлуатації наведено у таблиці 3.5.2

Таблиця 5.2 Робочі умови експлуатації

Величина, що впливає	Номінальні значення та їх відхилення
Температура навколишнього середовища:	
- нижнє значення, °С	-10
- верхнє значення, °С	+35
Відносна вологість при температурі навколишнього середовища 35 °С, %	98
Атмосферний тиск, kPa	86...106

ІВС повинна зберігати зовнішній вигляд і свої параметри відповідно до вимог кліматичного виконання УХЛ категорії приміщення 4.2 за ГОСТ 15150-69.

Вимоги до транспортування наведено у таблиці 3.4.3

Таблиця 5.3 Граничні умови транспортування

Впливаюча величина	Номінальні значення та їх відхилення
Температура зовнішнього середовища, - нижнє значення, °С - верхнє значення, °С	0 +100
Відносна вологість при температурі 25 °С, %	98
Атмосферний тиск, kPa	70-107
Максимальне прискорення механічних ударів при частоті 80-120 ударів в хвилину	30 м/с ²

Вимоги до зберігання наведено у таблиці 3.5.4

Таблиця 5.4 Вимоги до зберігання

Впливаюча величина	Номинальні значення та їх відхилення
Температура зовнішнього середовища, - нижнє значення, °C - верхнє значення, °C	0 +35
Відносна вологість при температурі 35 °C, %	98
Атмосферний тиск, kPa	84-106,7

5.2 Вимоги до конструкції

ІВС повинна відповідати вимогам до конструкції, наведено у таблиці 3.6.1.

Таблиця 5.5 Габарити та вага складових ІВС

Найменування	Розмір hxlxb, m	Вага, kg
ІВС	0.2 x 0.2 x 0.2	0.25
Бокс живлення	0.075 x 0.085 x 0.030	0,025

5.3 Вимоги до електроживлення

Живлення повинно здійснюватися від джерела постійного струму напругою від 5 V до 9 V.

5.4 Вимоги до надійності

Вимоги до надійності не встановлюються.

5.5 Вимоги до безпеки монтажу, експлуатації та ремонту

ІВС не потребує особливих вимог щодо монтажу.

ІВС поставляється у зібраному вигляду, не потребує розбирання за винятком заміни елементів живлення.

5.6 Вимоги до захисту від перешкод.

Вимоги до захисту від перешкод не встановлені.

5.7 Вимоги до методів і засобів повірки

ІВС відноситься до вимірювальних засобів, які не підлягають державному метрологічному нагляду. ІВС при виробництві підлягає метрологічній атестації та не підлягає калібруванню при експлуатації.

6 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Додаткові вимоги не встановлюються.

7 СТАДІЇ ТА ЕТАПИ РОЗРОБКИ ПРОЄКТУ

Таблиця 7.1 Етапи розробки дипломного проєкту

№ з/п	Назва етапу виконання курсового проєкту	Строк виконання етапів проєкту
1	Дослідження проблемного об'єкту	25.02.2020
2	Розробка та затвердження технічного завдання	05.03.2020
3	Розробка структури виробу	20.03.2020
4	Розробка функціональної схеми виробу	10.04.2020
5	Розробка схем принципів окремих модулів	20.04.2020
6	Розрахунки показників якості виробу	10.05.2020
7	Висновки	20.05.2020
8	Оформлення дипломного проєкту	25.05.2020

8 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

Приймання дипломного проекту виконується комісією затвердженою кафедрою інформаційно-вимірювальної техніки.

Склад документації, яка подається до приймання:

- пояснювальна записка з додатками;
- графічні документи (схема структурна, схема функціональна, схема принципова, алгоритм роботи ІВС);
- технічне завдання;
- анотації (українською та іноземною мовами);
- титульні листи проекту та пояснювальної записки.

Вимоги технічного завдання можуть бути змінені за бажанням сторін. Всі зміни повинні бути оформлені письмово і затверджені сторонами.

9 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИЛАДУ

Данна інформаційно-вимірювальна система буде корисною для регулювання при змішаному освітленні у виробничих приміщеннях. Протягом року тривалість дня змінюється відповідно перехід з природнього на штучне освітлення у виробничому приміщенні відбувається раніше. Для більш раціонального використання енергетичних ресурсів та виключення негативного впливу на якість виробництва буде використовуватися дана інформаційно-вимірювальна система яка буде слідкувати за сонцем впродовж року. Траєкторія руху сонця змінюється впродовж року, що робить використання цієї системи більш ефективною ніж звичайні люксометри.

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Цифровий люксметр з системою
позиціонування»

ЗМІСТ

ВСТУП.....	2
1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ РІШЕНЬ	4
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА ОПИС ЇЇ РОБОТИ.....	14
2.1 СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ ТА ЇЇ ОПИС.....	14
2.2 ПРИНЦИП РОБОТИ СИСТЕМИ ЗА СТРУКТУРНОЮ СХЕМОЮ.....	14
3. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ	15
3.1 СХЕМА ПРИНЦИПОВА ЕЛЕКТРИЧНА.....	15
3.2 СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ФУНКЦІОНАЛЬНА	17
3.3 АЛГОРИТМ РОБОТИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ	18
4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ІВС	20
4.1 ОГЛЯД СЕРЕДОВИЩА РОЗРОБКИ	20
4.2 ПРОГРАМНИЙ КОД ДЛЯ ІВС	20
5. СКЛАД ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ.....	23
5.1 МІКРОКОНТРОЛЕР ARDUINO UNO	23
5.2 СЕРВОПРИВІД TOWERPro SG 5010.....	31
5.3 ЦИФРОВИЙ ЛЮКСМЕТР BH1750	33
5.4 ГРАФІК ЧАСУ ДЛЯ ПОСЛІДОВНОСТІ ЖИВЛЕННЯ VCC ТА DVI.....	38
6. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	39
6.1 ВІДНОСНА ПОХИБКА АЦП	39
6.2 АБСОЛЮТНА ПОХИБКА АЦП	39
7. РОЗРОБКА МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	40
7.1 МЕТОДИКА ПОВІРКИ ДАТЧИКА BH1750 ДЛЯ ARDUINO	40
7.2 ОПЕРАЦІЇ ПОВІРКИ.....	40
7.3 ЗАСОБИ ПОВІРКИ.....	41

					<i>BM61-1.201111.001 ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			
Розроб.	Грижак А.П.				<i>Цифровий люксметр з системою позиціонування</i>		Літ.
Керівн..	Мокийчук В.М..						Аркуш
							Аркушів
Н. контр.	Щербань А.П.				<i>КПІ ім Ігоря Сікорського каф.ІВТ, гр. BM61-1</i>		
Затв.	Єременко В.С.						

7.4	УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ПОВІРКИ	42
7.5	ВИМОГИ ЩОДО БЕЗПЕКИ	43
7.6	ПІДГОТОВКА ДО ПРОВЕДЕННЯ ПОВІРКИ	43
7.7	МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ПОВІРКИ	44
7.8	ПЕРЕВІРКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ	44
7.9	ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	46

					<i>ВМ61-1.201111.001 ПЗ</i>	Арж.
Зм.	Арж.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Розробка інформаційно-вимірювальної системи (далі за текстом ІВС) виконується у відповідності до технічного завдання виданого та затвердженого кафедрою інформаційно-вимірювальної техніки від 05 лютого 2020 року.

Освітлення відіграє важливу роль у житті людини, як зовнішнє так і внутрішнє. Недостатня освітленість у виробничому приміщенні може призвести до зниження продуктивності та якості виробництва, нещасних випадків та аварійних ситуацій. Тому слід дотримуватися норм освітлення згідно з регламентом. У аграрній промисловості освітлення відіграє не менш

важливу роль. Деякі види рослин мають отримувати достатню кількість світла інакше вони не будуть рости. Також інші, тропічні рослини, які люблять вологий клімат та помірну кількість сонячного світла. Для того щоб контролювати процес регулювання освітлення використовують спеціальні прилади – люксметри. Люксметри в залежності від своєї конструкції поділяються на декілька видів: з виносним датчиком, моноблок, цифровий та аналоговий. Переваги та недоліки цих приладів залежать від їх виду. Пристрої з виносним датчиком дозволяють більш точно виміряти освітлення завдяки тому що датчик можна розташувати у різних місцях. Моноблочні люксметри більше підійдуть для вимірювання освітлення у побуті. Аналогові люксметри мають невелику ціну, але мають невисокий клас точності. Цифрові люксметри дуже зручні для зняття результатів вимірювання та мають високий клас точності, але й коштують вони набагато дорожче. На жаль звичайні люксметри не завжди практичні у використанні, якщо потрібно вимірювати освітленість відносно джерела світла протягом дня. У такому випадку краще використовувати інформаційно-вимірювальну систему на базі мікроконтролера Arduino. Цей вибір обумовлено доступністю, простотою та гнучкістю використання мікроконтролера. У рамках цього проєкту була розроблена інформаційно-вимірювальна система, яка слідує за положенням

					ВМ61-1.201111.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

джерела світла та вимірює освітлення у люксах. Дана інформаційно-вимірювальна система не має великих недоліків, похибки датчика незначні, заміна того чи іншого елементу не є складною, датчик не потребує калібровки.

					ВМ61-1.201111.001 ПЗ	Арк.
						3
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Огляд сучасних рішень

Найпростіші моделі люксометрів (такі як LX-1010BS та Ezodo SP-216) характеризуються невисокою ціною та призначені для вимірювань які не потребують високого класу точності.



Рисунок 1.1 Зовнішній вигляд LX-1010BS

Відсутність світлових фільтрів зумовлює точність 10 Вт/м², цього цілком достатньо для контролю рівня освітленості у рослинництві, метеорології, закритих приміщеннях різного призначення, та на відкритому просторі.

					ВМ61-1.201111.001 ПЗ	Арк.
						4
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 Зовнішній вигляд Ezodo SP-216

До переваг цих люксометрів можна віднести великий рідкокристалічний екран, зрозуміле меню приладу, гнучке з'єднання чутливого елементу з приладом, що забезпечує можливість вимірювань у важкодоступних місцях.

Модель люксометра ТМ 202 оснащена фільтром для фільтрування випромінювання поза видимим діапазоном, має кабель довжиною півтора метра для з'єднання датчика з приладом, характеризується набором додаткових функцій таких як індикація перенавантаження, індикація низького заряду батареї, фіксація значення, функція максимального, мінімального та усередненого значення.

					ВМ61-1.201111.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5



Рисунок 1.3 Зовнішній вигляд ТМ 202

Даний люксометр призначений для вимірювання всіх видимих джерел світла в приміщеннях різного призначення.

Люксометр ТМ-213 UVAB розроблений спеціально для вимірювання потужності ультрафіолетового випромінювання.



Рисунок 1.4 Зовнішній вигляд ТМ-213 UVAB

					ВМ61-1.201111.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Цей люксметр знадобиться для застосування при санітарному та технічному контролю

Таблиця 1.1 Технічні характеристики люксметрів

	LX-1010BS	SP-216	TM 202	TM-213 UVAB
Діапазон вимірювання	0 -100 000 LUX	0-1999 Вт/м 20-634 BTU	20,200,2000,20000 200000 лк 20,200,2000,20000 фк	4000мкк Вт/см 2,20 мкВт /см2
Роздільна здатність	-	0.1 Вт/м2, або 0.1 BTU	-	1 мкВт/см2, 0,01 мкВт/см2
Точність	-	±10 Вт/м 2±3 BTU	+/- 3 %	±5 % повного діапазону +2 од.
Час спрацьовування	0,4 с	0.25 с	-	0,4 с
Габарити	116×70×29 мм	132х60х38 мм	130х55х38 мм	133х48х23 мм
Вага	200 г	150 г.	250 г	90 г

Люксметри наступної групи, призначені для аналізу світла неонових і світлодіодних джерел(ТМ-201L та ТМ-209), а також стандартних джерел світла класу А(ТМ-209N та ТМ-209М).



Рисунок 1.5 Зовнішній вигляд ТМ-201L

Дані люксметри обладнані світлофільтрами та високочутливими кремнієвими фотоелементами, спектральний відгук який наближено до світлової спектральної ефективності СІЕ. Все це, разом із застосуванням косинусної кутової корекції для випадку поперечного освітлення, забезпечує високу точність вимірювань. Додаткові можливості для контролю рівня освітленості надає 1,5 метровий кабель сенсора який з'єднується з вимірювальним блоком. Люксметри ТМ-209, ТМ-209N та ТМ-209М не відрізняються зовнішнім виглядом.



Рисунок 1.6 Зовнішній вигляд ТМ-209

Додатковими для люксметра є функції мінімального, максимального та усередненого значень, вимірювання освітленості в різних одиницях та фіксація результатів вимірювань.

Таблиця 1.2 Технічні характеристики люкметрів

ТМ-201L	ТМ-209	ТМ-209N	ТМ-209М
Для вимірювання світлодіодних джерел	Для вимірювання світлодіодних джерел	Для вимірювання неонових та світлодіодних джерел	Для вимірювання багатокольорових світлодіодних джерел
½ цифровий РК дисплей, максимальне значення 2000	Біле світло, світло діодів та всі джерела видимого світла	7 неонових джерел світла та інші джерела видимого світла	6 світлодіодних джерел та інші джерела видимого світла
Діапазон 200, 2000, 20000, 200000лк 20, 200, 2000, 20000фк	Діапазон 40, 400, 4000, 40000, 400000 люкс, 40, 400, 4000, 40000 фут-кандел		
Функція максимуму	Функція максимуму, мінімуму, середнє значення		
Ручне обнулення	Функція налаштування нуля		
Ручний вибір діапазону	Автовибір діапазону		
Габарити приладу 130х55х38 мм, габарити датчика 80х55х25 мм, Вага 250 г			

До наступного класу відносяться професійні високоточні люкметри з розширеними можливостями завдяки використанню різних датчиків.

Люксметр ТМ-208 може вимірювати сонячну енергію, ультрафіолетове випромінювання, а також освітленість від різних штучних джерел випромінювання.



Рисунок 1.7 Зовнішній вигляд ТМ-208

Широкий діапазон вимірювань, реєстратор даних на 45 000 точок, USB-інтерфейс для передачі даних на ПК з метою візуалізації та подальшої обробки. Кремнієвий фотодіод, спектральний відклик якого наближений до СІЕ, фільтр та косинусна кутова корекція забезпечують високу точність вимірювання освітленості. Даний люксметр застосовується для контролю медичних джерел випромінювання, у фізичних та оптичних лабораторіях, для перевірки фотоелектричних модулів у польових умовах, та для багатьох інших задач.

Особливо слід виділити професійні люксметри від відомого європейського виробника вимірювальних приладів Delta OHM. Ці люксметри можна назвати універсальними завдяки можливостям їх роботи з широким модельним рядом сенсорів випромінювання від цього ж виробника. Це дає змогу працювати в різних частинах спектру від інфрачервоного до ультрафіолетового діапазону.

Оптичні сенсори серії LP471 дозволяють вимірювати кількісні значення фотометричних та радіометричних величин таких, як освітленість (люкс, фут-кандела), яскравість (кд/м²), інтенсивність випромінювання(Вт/м², мкВт/см²)

					ВМ61-1.201111.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

у видимій(VIS-NIR) та ультрафіолетовій (UVA, UVB, UVC) частині спектру, а також кількість фотонів, прийнятих за одиницю часу на одиницю площі в діапазоні фотосинтетично-активного випромінювання (PAR) з довжиною хвилі від 400 до 700нм (мкмоль/м²·с). Сенсори LP471 для люкметрів комплектуються дифузором косинусної корекції. В сенсорах для вимірювання УФ випромінювання дифузор виготовлений зі шліфованого кварцу, для інших – як правило виготовляється з акрилу або тефлону (LP471 PHOT). Ось перелік доступних сенсорів:

Таблиця 1.3 Перелік сенсорів

LP471 PHOT	для вимірювання освітленості. Діапазон: 0,01...200*103 люкс. Спектральний відгук відповідає стандарту фотопiчного зору.
LP471 LUM2	для вимірювання яскравості. Діапазон: 0,1...2000*103 кд/м2 спектральний відклик відповідає стандарту фотопiчного зору, кут огляду 2°.
LP471 RAD	для вимірювання інтенсивності випромінювання (Вт/м2). Діапазон вимірювання: 0,1*10 ⁻³ ...2000 Вт/м2
LP471 UVA	вимірює інтенсивність в частині ультрафіолетового спектру UVA (315÷400 нм). Діапазон вимірювання 0,1*10 ⁻³ ...2000 Вт/м2
LP471 UVB	вимірює інтенсивність в частині ультрафіолетового спектра UVB (280÷315 нм). Діапазон: 0,1*10 ⁻³ ...2000 Вт/м2
LP471 UVC	вимірює інтенсивність в частині ультрафіолетового спектра UVC (200 ÷280 нм). Діапазон: 0-200 мВт/см2.
LP471 PAR	для вимірювання фотосинтетично-активного випромінювання. Діапазон: 0-5000 (мкмоль/(м ² с-1).
LP471 ERY	Для вимірювання ефективної загальної освітленості в спектральні області 250 нм...400 нм. Діапазон:0,1*10 ⁻³ Вт/м2 ...2000 Вт/м2

Люксметр HD2302.0 є дещо спрощеним варіантом серії HD2102, який не має функції реєстратора даних та інтерфейсу для підключення до ПК, а також не має функції для розрахунку інтегрованих величин.



Рисунок 1.8 Зовнішній вигляд HD2302.2

Хоча, як і люксметри серії HD2102, може здійснювати фіксацію максимального, мінімального та середнього значення вимірюваної величини, працює з усіма типами фотометричних сенсорів фірми DeltaOhm, має зручний ергономічний корпус та великий екран. Має функції автоматичного вимикання та фіксації результату.

Люксметр типу HD2102.2 представляє собою портативний прилад, призначений для вимірювання освітленості, яскравості та інтенсивності випромінювання.



Рисунок 1.9 Зовнішній вигляд HD2102.2

Вимірює як миттєві, так і інтегровані за часом значення вимірювальних параметрів. Реєстратор даних на 38000 точок та здатність роботи з ПК, або мобільним принтером у реальному часі відкривають широкі можливості для контроль рівня освітленості. Функції Max, Min та Avg розраховують максимальне мінімальне та середнє значення результату. Наявні функції відносного вимірювання-REL, фіксації-HOLD та автоматичного вимикання, які за потреби можна дезактивувати.

					ВМ61-1.201111.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

3. Розробка принципової електричної схеми та алгоритму роботи

3.1 Схема принципова електрична

Розробка принципової електричної схеми, обумовлена можливістю уточнення алгоритмів функціонування ІВС та більш детального аналізу складових ІВС.

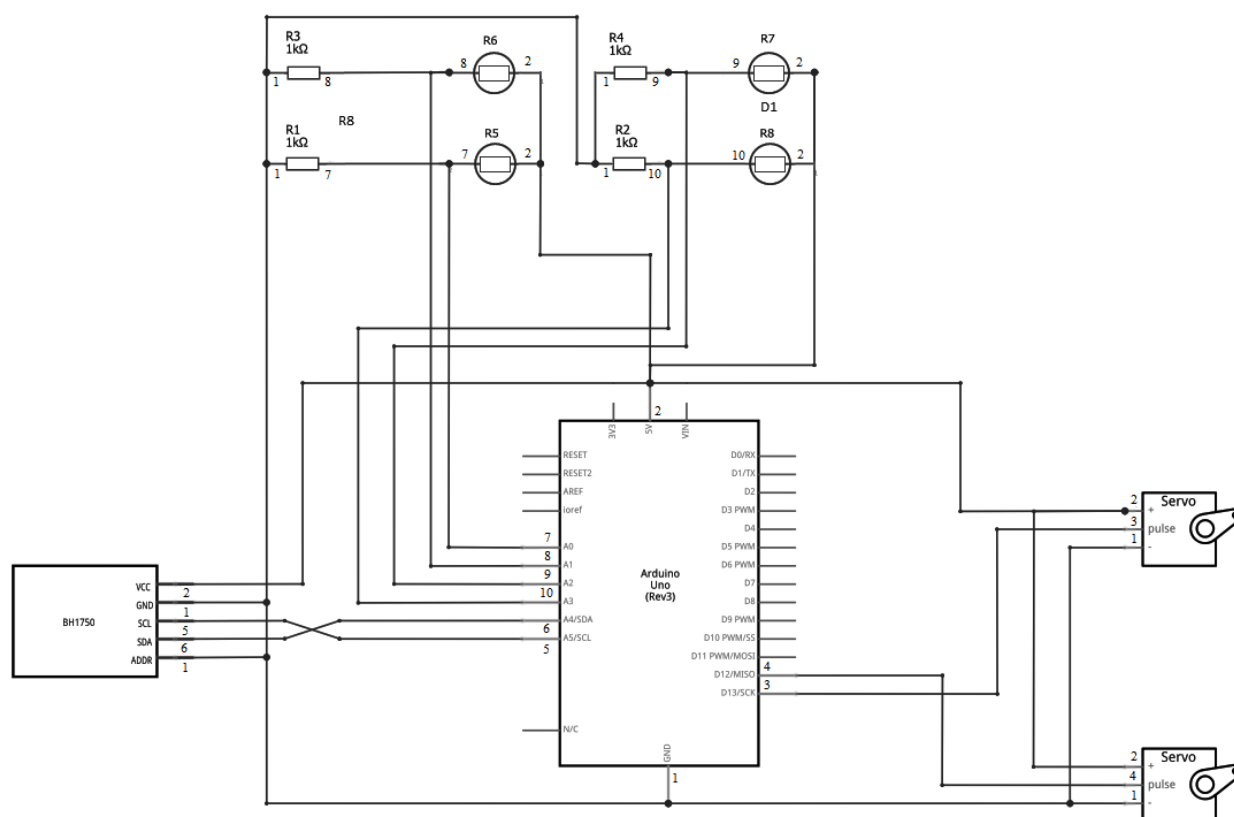


Рисунок 3.1 Принципова електрична схема

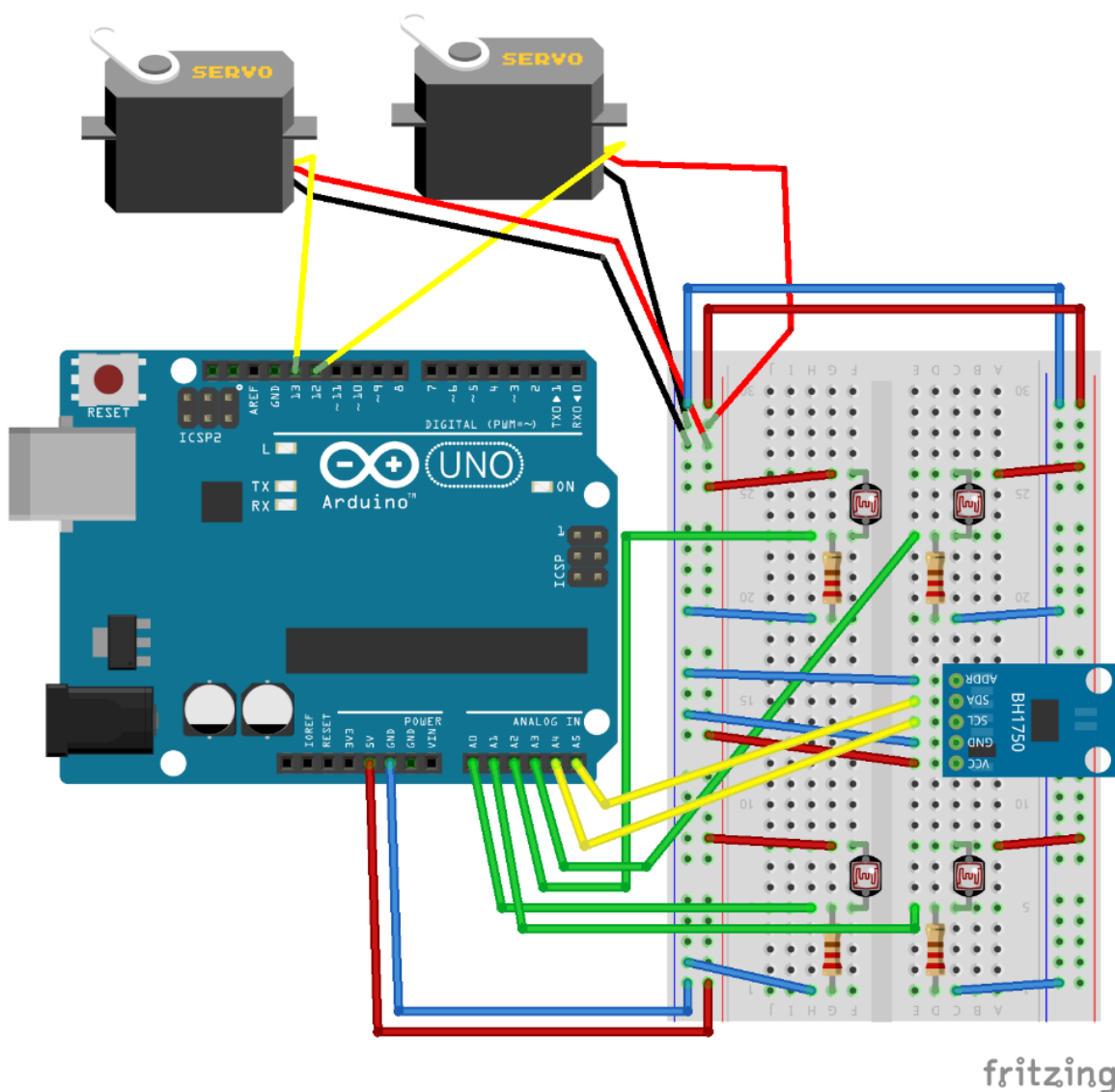


Рисунок 3.2 Схема викона у программі Fritzing

3.2 Схема електрична функціональна

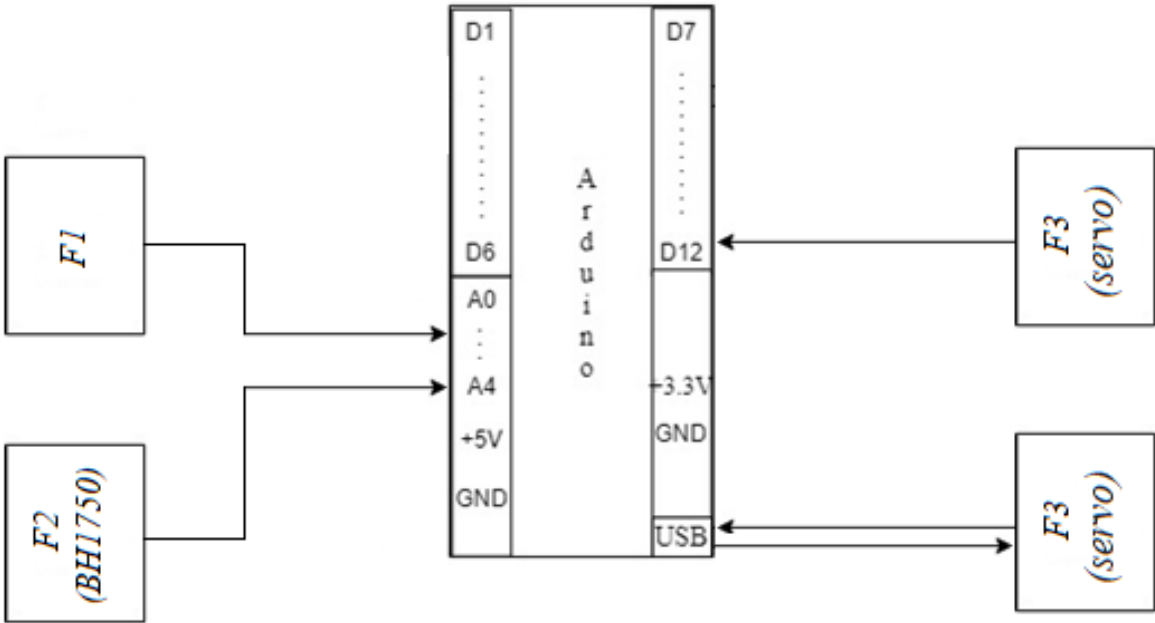


Рисунок 3.3 Схема електрична функціональна

Де,
F1 – блок з чотирьох фоторезисторів;
F2 – цифровий люксометр BH1750;
F3 – Сервопривід TowerPro SG 5010;
I/O – пристрій вводу/виводу;

3.3 Алгоритм роботи інформаційно-вимірjuвальної системи

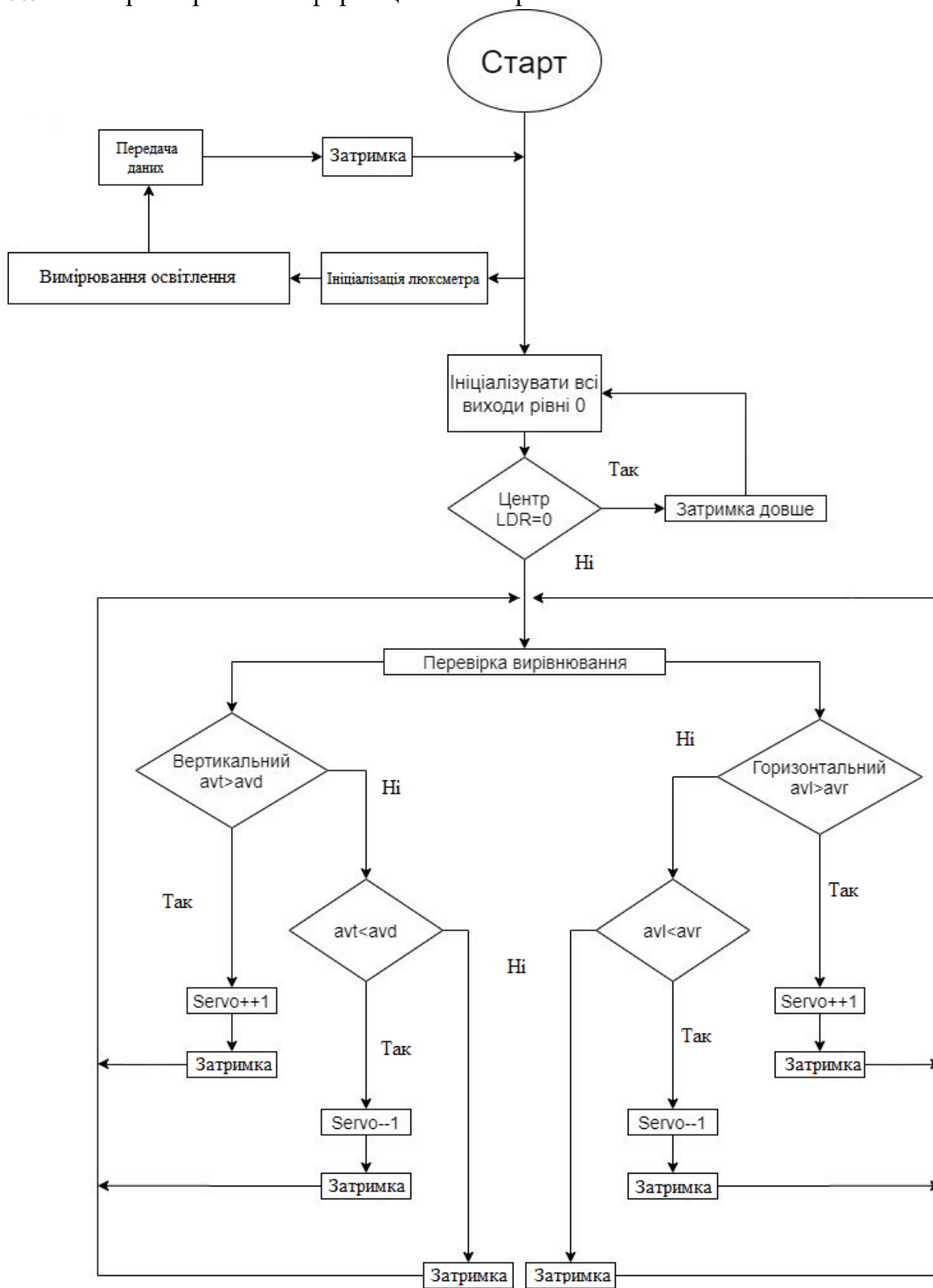


Рисунок 3.4 Алгоритм роботи ІВС

Принцип роботи інформаційно-вимірювальної системи ґрунтується на фоторезисторах (LDR). Чотири LDR підключені до аналогового висновку Arduino АО - А4, який служить входом для системи. Сигнал подається на вбудований аналого-цифровий перетворювач, який перетворює аналогові значення LDR у цифрове. LDR1 і LDR2, LDR3 і LDR4 приймаються за пару. Якщо значення опору на одному з LDR в більше ніж на іншому, буде відмінність в напрузі вузлів, що відправляються на відповідний канал Arduino для прийняття необхідних дій. Серводвигун перемістить сонячну панель в положення LDR високої інтенсивності, яке було при програмуванні.

					ВМ61-1.201111.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

4. Розробка програмного забезпечення для IBC

4.1 Огляд середовища розробки

Програмний код було розроблено у спеціальному середовищі Arduino IDE.

Arduino IDE - програмне забезпечення для користувачів, що дозволяє писати свої програми (скетчі) для платформи Arduino. Ця платформа в першу чергу орієнтується на конструкторів-любителів, які застосовують Arduino для побудови простих систем автоматики і робототехніки.

Arduino IDE підтримує мови C і C ++ з використанням спеціальних правил структурування коду. Arduino IDE надає бібліотеку програмного забезпечення з проекту Wiring, яка надає безліч загальних процедур введення і виведення. Для написаного користувачем коду потрібні тільки дві базові функції для запуску ескізу і основного циклу програми, які скомпільовані і пов'язані з заглушкою програми `main ()` в виконувану циклічну виконавчу програму з ланцюжком інструментів GNU, також включеною в дистрибутив IDE. Arduino IDE використовує програму `avrdude` для перетворення коду, в текстовий файл в шістнадцятковій кодуванні, який завантажується в плату Arduino програмою-завантажувачем у вбудованому програмному забезпеченні плати.

4.2 Програмний код для IBC

```
#include <Wire.h>
#include <BH1750FVI.h>
#include <Servo.h>
BH1750 lightMeter;

Servo horizontal;
int servoh = 90;

int servohLimitHigh = 180;
int servohLimitLow = 0;

Servo vertical;
int servov = 45;
int servovLimitHigh = 180;
```

					ВМ61-1.201111.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

```

int servovLimitLow = 0;

int ldrlt = A2; //LDR top left - BOTTOM LEFT
int ldrrt = A3; //LDR top right - BOTTOM RIGHT
int ldrlld = A1; //LDR down left - TOP LEFT
int ldrrd = A0; //ldr down right - TOP RIGHT
int tol = 50;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  lightMeter.begin();
  horizontal.attach(9);
  vertical.attach(10);
  horizontal.write(servoh);
  vertical.write(servov);
}

void loop()
{
  uint16_t lux = lightMeter.readLightLevel();
  Serial.print("Light: ");
  Serial.print(lux);
  Serial.println(" lx");

  delay(1000);

  int lt = analogRead(ldrlt); // top left
  int rt = analogRead(ldrrt); // top right
int ld = analogRead(ldrlld); // down left

  int rd = analogRead(ldrrd); // down right

  int avt = (lt + rt) / 2; // average value top
  int avd = (ld + rd) / 2; // average value down
  int avl = (lt + ld) / 2; // average value left
  int avr = (rt + rd) / 2; // average value right

  int dvert = abs(avt - avd); // check the diffirence of up and down
  int dhoriz = abs(avl - avr); // check the diffirence of left and right

  if (dhoriz > tol)
  {
    if (avl > avr)

```

```

    {
        if (servoh - 1 >= servohLimitLow) servoh--;

    }
    else if (avl < avr)
    {
        if (servoh + 1 <= servohLimitHigh) servoh++;

    }
    horizontal.write(servoh);
}

if (dvert > tol)
{
    if (avt > avd)
    {
        if (servov + 1 <= servovLimitHigh) servov++;

    }
    else if (avt < avd)
    {
        if (servov - 1 >= servovLimitLow) servov--;

    }
    vertical.write(servov);
}
}

```

5. Склад інформаційно-вимірювальної системи

5.1 Мікроконтролер Arduino UNO

5.1.1 Характеристики Arduino UNO

У якості пристрою керування був обраний мікроконтролер Arduino UNO. Даний мікроконтролер був обраний через зручність, функціональність та простоту його використання. Його роль у даній інформаційно-вимірювальній системі – контролювання положення сервоприводів.

Arduino UNO - це пристрій на основі мікроконтролера ATmega328. У його склад входить все необхідне для зручної роботи з мікроконтролером: 14 цифрових входів / виходів (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ виходів), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для внутрисхемного програмування (ICSP) і кнопка RESET. Для початку роботи з пристроєм досить просто подати живлення від AC / DC адаптера або батарейки, або підключити його до комп'ютера за допомогою USB кабелю.

На відміну від всіх попередніх плат Arduino UNO в якості перетворювача інтерфейсів USB-UART використовує мікроконтролер ATmega16U2 (ATmega8U2 до версії R2) замість мікросхеми FTDI. На платі Arduino UNO версії R2 для спрощення процесу оновлення прошивки доданий резистор, що підтягує до землі лінію HWB мікроконтролера 8U2.

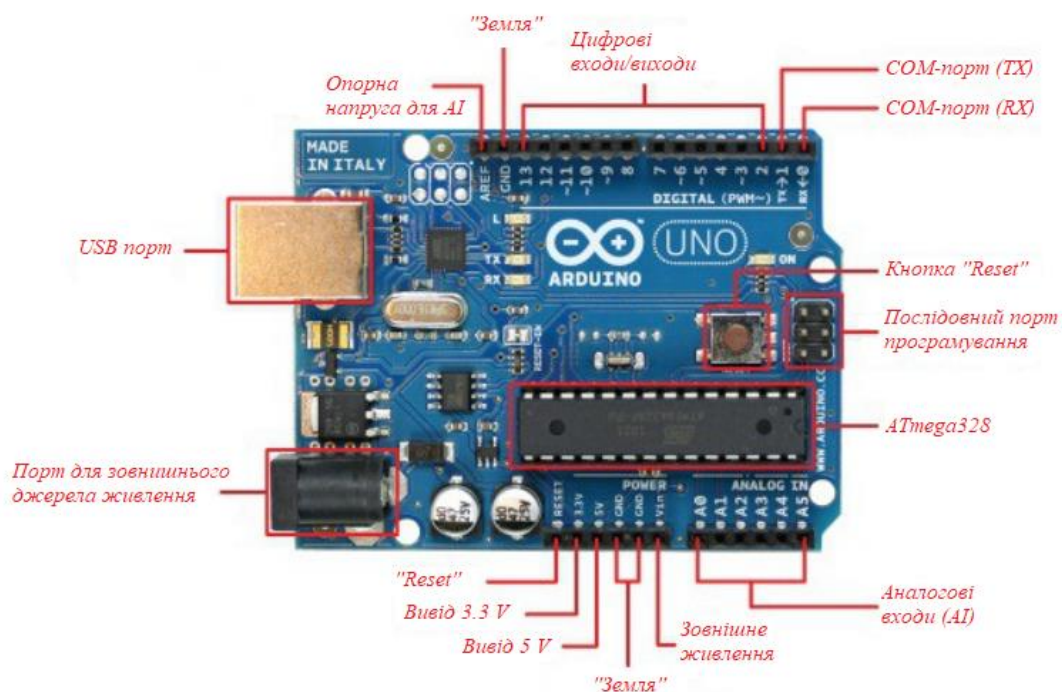


Рисунок 5.1 Зовнішній вигляд Arduino UNO

Таблиця 1 Технічні характеристики Arduino UNO

Мікроконтролер	ATmega328
Робоча напруга	5 V
Напруга живлення (рекомендована)	7-12 V
Напруга живлення (гранична)	6-20 V
Цифрові входи/виходи	14 (6 з них можуть використовуватися у якості ШІМ-виходів)
Аналогові входи	6
Максимальний струм одного виходу	40 mA
Максимальний вихідний струм виходу 3.3 V	50 mA
Flash-пам'ять	32 KB (ATmega328) з яких 0.5 KB використовуються завантажувачем
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Тактова частота	16Hz

5.1.2 Живлення Arduino UNO

Arduino UNO може бути живиться від USB або від зовнішнього джерела живлення тип джерела вибирається автоматично.

В якості зовнішнього джерела живлення (НЕ USB) може використовуватися мережевий AC / DC адаптер або акумулятор / батарея. Штекер адаптера (діаметр 2.1 мм, центральний контакт позитивний) необхідно вставити у відповідний роз'єм живлення на платі. У разі живлення від акумулятора / батареї, її проводу необхідно під'єднати до висновків Gnd і Vin роз'єму POWER.

Напруга зовнішнього джерела живлення може бути в межах від 6 до 20 V. Однак, зменшення напруги живлення нижче 7 V призводить до зменшення напруги на виході 5 V, що може стати причиною нестабільної роботи пристрою. Використання напруги більше 12 V може призводити до перегріву стабілізатора напруги і виходу плати з ладу. З урахуванням цього, рекомендується використовувати джерело живлення з напругою в діапазоні від 7 до 12 V.

Нижче перераховані виходи живлення, розташовані на платі:

- VIN. Напруга, що надходить в Arduino безпосередньо від зовнішнього джерела живлення (не пов'язане з 5V від USB або іншим стабілізованою напругою). Через цей вихід можна як подавати зовнішнє живлення, так і споживати струм, коли пристрій живиться від зовнішнього адаптера.
- 5V. На висновок надходить напруга 5V від стабілізатора напруги на платі, поза незалежності від того, як живиться пристрій: від адаптера (7-12V), від USB (5V) або через висновок VIN (7-12V). Живити пристрій через виходи 5V або 3V3 НЕ рекомендується, оскільки в цьому випадку

не використовується стабілізатор напруги, що може привести до виходу плати з ладу.

- 3V3. 3.3V, що надходять від стабілізатора напруги на платі. Максимальний струм, споживаний від цього висновку, становить 50 mA.
- GND. Вивід землі.
- IOREF. Цей вивід надає платам розширення інформацію про робочій напрузі мікроконтролера Arduino. Залежно від напруги, ліченого з виведення IOREF, плата розширення може переключитися на відповідне джерело живлення або задіяти перетворювачі рівнів, що дозволить їй працювати як з 5V, так і з 3.3V пристроями.

У якості приводного агрегату було обрано сервоприводи TowerPro SG 5010. Дані сервоприводи дозволяють з високою точністю керувати положенням датчика. Один з сервоприводів відповідає за горизонтальне положення датчика, а другий за вертикальне.

5.1.3 Пам'ять Arduino UNO

Обсяг flash-пам'яті ATmega328 становить 32 KB (з яких 0.5 KB використовуються завантажувачем). Мікроконтролер також має 2 KB пам'яті SRAM і 1 KB EEPROM (з якої можна зчитувати або записувати інформацію за допомогою бібліотеки EEPROM).

5.1.4 Входи та виходи Arduino UNO

З використанням функцій pinMode(), digitalWrite() і digitalRead() кожен з 14 цифрових висновків може працювати в якості входу або виходу. Рівень напруги на висновках обмежений 5В. Максимальний струм, який може віддавати або споживати один висновок, становить 40 mA. Всі висновки

					ВМ61-1.201111.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

пов'язані з внутрішніми підтягуються резисторами (за замовчуванням відключеними) номіналом 20-50 кОм.

Крім цього, деякі виходи Arduino можуть виконувати додаткові функції:

- Послідовний інтерфейс: висновки 0 (RX) і 1 (TX). Використовуються для отримання (RX) і передачі (TX) даних по послідовному інтерфейсу. Ці виходи з'єднані з відповідними виходами мікросхеми ATmega8U2, яка виконує роль перетворювача USB-UART.
- Зовнішні переривання: висновки 2 і 3. Чи можуть служити джерелами переривань, що виникають при фронті, спаді або при низькому рівні сигналу на цих виходах.
- ШІМ: виходи 3, 5, 6, 9, 10 і 11. За допомогою функції `analogWrite ()` можуть виводити 8 бітні аналогові значення в вигляді ШІМ сигналу.
- Інтерфейс SPI: виходи 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Із застосуванням бібліотеки SPI дані виходи можуть здійснювати зв'язок по інтерфейсу SPI.
- Світлодіод: 13. Вбудований світлодіод, приєднаний до виходу 13. При відправці значення HIGH світлодіод включається, при відправці LOW вимикається.

В Arduino UNO є 6 аналогових входів (A0 A5), кожен з яких може уявити аналогову напругу у вигляді 10 бітного числа (1024 різних значення). За замовчуванням, вимір напруги здійснюється щодо діапазону від 0 до 5 V. Тим не менше, верхню межу цього діапазону можна змінити, використовуючи вивід AREF і функцію `analogReference ()`. Окрім цього, деякі з аналогових входів мають додаткові функції:

- TWI: висновок A4 або SDA і висновок A5 або SCL. З використанням бібліотеки Wire дані виходи можуть здійснювати зв'язок по інтерфейсу TWI.
- AREF. Опорна напруга для аналогових входів. Може бути задіяний функцією analogReference ().
- Reset. Формування низького рівня (LOW) на цьому висновку призведе до перезавантаження мікроконтролера. Зазвичай цей висновок служить для функціонування кнопки скидання на платах розширення.

5.1.5 Зв'язок Arduino UNO

Arduino UNO надає ряд можливостей для здійснення зв'язку з комп'ютером, ще одним Arduino або іншими мікроконтролерами. У ATmega328 є приймач UART, що дозволяє здійснювати послідовний зв'язок за допомогою цифрових виходів 0 (RX) і 1 (TX). Мікроконтролер ATmega16U2 на платі забезпечує зв'язок цього приймача з USB портом комп'ютера, і при підключенні до ПК дозволяє Arduino визначатися як віртуальний COM порт. Прошивка мікросхеми 16U2 використовує стандартні драйвера USB-COM, тому встановлення зовнішніх драйверів не потрібно. На платформі Windows необхідний тільки відповідний .inf файл. У пакет програмного забезпечення Arduino входить спеціальна програма, що дозволяє зчитувати і відправляти на Arduino прості текстові дані. При передачі даних через мікросхему перетворювач USB-UART під час USB з'єднання з комп'ютером, на платі будуть мигати світлодіоди RX і TX. (При послідовної передачі даних за допомогою виходів 0 і 1, без використання USB перетворювача, дані світлодіоди задіюються).

Бібліотека SoftwareSerial дозволяє реалізувати послідовну зв'язок на будь-яких цифрових виходах Arduino UNO. У мікроконтролері ATmega328

також реалізована підтримка послідовних інтерфейсів I2C (TWI) і SPI. У програмне забезпечення Arduino входить бібліотека Wire, що дозволяє спростити роботу з шиною I2C; для отримання більш докладної інформації див. документацію. Для роботи з інтерфейсом SPI використовуйте бібліотеку SPI.

5.1.6 Програмування Arduino UNO

Arduino UNO програмується за допомогою програмного забезпечення Arduino. Для цього з меню Tools> Board необхідно вибрати "Arduino UNO" з мікроконтролером, відповідний платі.

ATmega328 в Arduino UNO випускається з прошитим завантажувачем, що дозволяє завантажувати в мікроконтролер нові програми без необхідності використання зовнішнього програматора. Взаємодія з ним здійснюється за оригінальним протоколу STK500.

Проте, мікроконтролер можна прошити і через роз'єм для внутрисхемного програмування ICSP (In-Circuit Serial Programming), не звертаючи уваги на завантажувач.

Вихідний код прошивки мікроконтролера ATmega16U2 (або 8U2 на платах версії R1 і R2) знаходиться у вільному доступі. Прошивка ATmega16U2 / 8U2 включає в себе DFU завантажувач (Device Firmware Update), що дозволяє оновлювати прошивку мікроконтролера. Для активації режиму DFU необхідно:

- На платах версії R1: замкнути перемицьку на звороті плати (біля зображення Італії), після чого скинути 8U2.
- На платах версій R2 і вище для спрощення переходу в режим DFU присутній резистор, що підтягує до землі лінію HWB мікроконтролера 8U2 / 16U2.

Після переходу в DFU режим для завантаження нової прошивки можна використовувати програмне забезпечення Atmel's FLIP (для Windows) або DFU programmer (для Mac OS X і Linux). Альтернативний варіант прошити мікроконтролер через роз'єм для внутрисхемного програмування ISP за допомогою зовнішнього програматора, проте в цьому випадку DFU завантажувач затреться.

5.1.7 Автоматичне (програмне) скидання Arduino UNO

Щоб кожен раз перед завантаженням програми не було потрібно натискати кнопку скидання, Arduino UNO спроектований таким чином, який дозволяє здійснювати його скидання програмно з підключеного комп'ютера. Один з висновків ATmega8U2 / 16U2, бере участь в управлінні потоком даних (DTR), з'єднаний з висновком RESET мікроконтролера ATmega328 через конденсатор номіналом 100 нФ. Коли на лінії DTR з'являється нуль, вихід RESET також переходить в низький рівень на час, достатній для перезавантаження мікроконтролера. Дана особливість використовується для того, щоб можна було прошивати мікроконтролер всього одним натисканням кнопки в середовищі програмування Arduino. Така архітектура дозволяє зменшити тайм-аут завантажувача, оскільки процес прошивки завжди синхронізований зі спадом сигналу на лінії DTR.

Однак ця система може призводити і до інших наслідків. При підключенні UNO до комп'ютерів, що працюють на Mac OS X або Linux, його мікроконтролер буде скидатися при кожному з'єднанні програмного забезпечення з платою. Після скидання на Arduino UNO активізується завантажувач на час близько пів секунди. Незважаючи на те, що завантажувач запрограмований ігнорувати сторонні дані (тобто всі дані, які не стосуються процесу прошивки нової програми), він може перехопити кілька перших байт даних з посилки, що відправляється платі відразу після установки з'єднання. Відповідно, якщо в програмі, що працює на Arduino, передбачено отримання

					BM61-1.201111.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

від комп'ютера будь-яких налаштувань або інших даних при першому запуску, переконайтеся, що програмне забезпечення, з

яким взаємодіє Arduino, здійснює відправку через секунду після установки з'єднання.

На платі UNO існує доріжка (зазначена як "RESETEN"), розімкнувши яку, можна відключити автоматичне скидання мікроконтролера. Для повторного відновлення функції автоматичного скидання необхідно спаяти між собою виходи, розташовані по краях цієї доріжки. Автоматичний скидання також можна вимкнути, підключивши резистор номіналом 110 Ом між висновком RESET і 5 V.

5.1.8 Захист USB від перевантажень

В Arduino UNO є відновлювані запобіжники, що захищають USB порт комп'ютера від коротких замикань і перевантажень. Незважаючи на те, що більшість комп'ютерів мають власний захист, такі запобіжники забезпечують додатковий рівень захисту. Якщо від USB порта споживається струм більше 500 mA, запобіжник автоматично розірве з'єднання до усунення причин короткого замикання або перевантаження.

5.2 Сервопривід TowerPro SG 5010

Дана модель дозволяє обертати вал редуктора в двох напрямках - по вартковий або проти годинникової стрілки, в діапазоні від 0 до 170-180 °. Точність позиціонування має похибки і залежить від конкретного виробу. Вбудований аналоговий контролер на мікросхемі AA51880 визначає кут повороту за показаннями потенціометра B5K.

Управління сервомотором здійснюється сигналами широтно-імпульсної модуляції (ШИМ). З корпусу виходять три кольорових дроти, два з яких (коричневий "-" і червоний "+") з'єднуються із зовнішнім джерелом живлення.

					BM61-1.201111.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Третій, Помаранчевий, підключається безпосередньо до контролера, що генерує високорівневі імпульси змінної ширини.

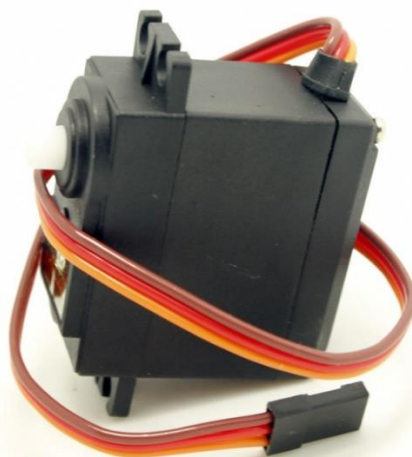


Рис 4.1 Зовнішній вигляд сервопривода TowerPro SG 5010

Таблиця 4.1 Технічні характеристики сервопривода

Робоча напруга:	4.8-6.0 В (постійне, DC)
Робочий струм:	100 - 600 mA
Швидкість реакції без навантаження:	0.19 секунди / 60° (4.8 вольт)
	0.15 секунди / 60° (6.0 вольт)
Кут нахилу:	до 180°
Управління:	ШИМ
Контролер:	аналоговий, AA51880
Редуктор:	нейлон
Розташування редуктора и мотора:	паралельні осі обертання
Тип редуктора:	шестерня циліндрична передача
Блокувальний момент:	5.5 кг / см (4.8 вольт)
	6.5 кг / см (6.0 вольт)
Довжина кабелю:	17 см

5.3 Цифровий люксметр BH1750

5.3.1 Опис та технічні характеристики BH1750

Вимірювати освітленість ми будемо за допомогою цифрового датчика освітлення GY-302 на чіпі BH1750 призначений для вимірювання фонового освітлення. BH1750 це 16-бітний датчик освітленості з інтерфейсом I2C. Даний датчик може працювати у кількох режимах та має вбудований АЦП завдяки якому він може виводити безпосередньо значущі цифрові дані у люксах. Датчик чутливий до видимого світла та майже не схильний до впливу інфрачервоного випромінювання, це означає що він реагує на той самий діапазон що і людське око.

Особливості датчика:

- Інтерфейс шини I2C (підтримка режиму f/s)
- Спектральна відповідальність-це приблизно реакція людського ока
- Освітленість-цифровий перетворювач
- Широкий діапазон і висока роздільна здатність. (1 - 65535 lx)
- Низький струм за допомогою функції відключення живлення
- Світлове відхилення шуму 50/60 Гц-функція
- Логічний вхідний інтерфейс 1.8 В
- Відсутність потреби всі зовнішні частини
- Залежність від джерела світла невелика. (екс. лампа розжарювання. люмінесцентна лампа. галогенна лампа. білий Світлодіод. сонячне світло)
- Можна вибрати 2 типи ведених адрес I2C.
- Регульований результат вимірювання для впливу оптичного вікна (Можливо виявити мін. 0,11 ЛК, макс. 100000 lx за допомогою цієї функції.)
- Вплив інфрачервоного випромінювання дуже мало.

Таблиця 4.2 Характеристики датчика BH1750

Спектральна характеристика	близька до візуальної чутливості
Малий вплив інфрачервоного випромінювання	
Фільтрація світлових шумів	50/60 Гц
Робоча напруга живлення	3.3-5 В
Струм споживання	120 мкА
Струм споживання в сплячому режимі	0.01 мкА
Чутливість	65536 градацій
Точність в режимі високої роздільної здатності	1 Лк
Точність в режимі низького дозволу	4 Лк
Період вимірювання в режимі високої роздільної здатності	120 мс
Період вимірювання в режимі низького дозволу	16 мс
Вбудований АЦП	
Шина даних:	I2C
Розміри:	18.5 x 13.9 x 2 мм
Вага:	5 г

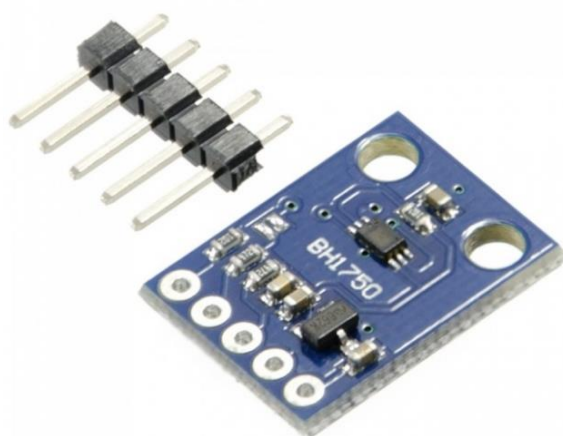


Рисунок 4.2 Зовнішній вигляд датчика BH1750

BH1750 може мати, в залежності від рівня сигналу на вході ADDR, дві адреси: 0x23 (ADDR=LOW) і 0x5C (ADDR=HIGH). Це означає, що на одну I2C лінію можна під'єднати одночасно два датчика BH1750. Висновок ADDR модуля GY - 302 можна залишити непідключеним, з'єднати з землею або з живленням. Слід врахувати, що не можна подавати більше 3.3 В. На модуль розпаяний стягуючий (pull-down) резистор на 1к, тому при відсутності з'єднання за замовчуванням використовується адреса (0x23).

5.3.2 Структурна схема BH1750

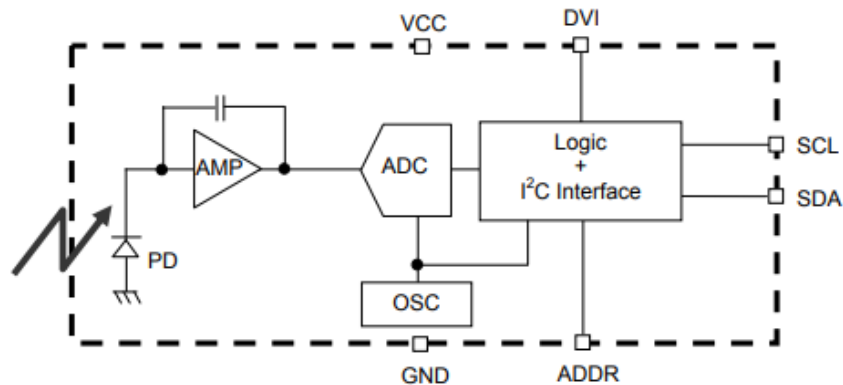


Рисунок 5.2 Структурна схема BH1750

Опис елементів структурної схеми:

- PD – фотодіод з чутливістю наближеною до людського ока.
- AMP – Інтеграція-ОРАМР для перетворення струму PD в напругу.
- ADC – АЦП для отримання цифрових 16-бітних даних.
- Logic + I²C Interface – Розрахунок розсіяного світла і інтерфейс шини I2C. В тому числі і нижче регістра.
 - Регістр даних → призначений для реєстрації даних про навколишнє освітлення. Початкове значення- "0000_0000_0000_0000".
 - Регістр часу вимірювання → це для реєстрації часу вимірювання. Початкове значення- "0100_0101".

- OSC – Внутрішній генератор (тип. 320 кГц). Це CLK для внутрішньої логіки.

5.3.3 Алгоритм роботи ВН1750

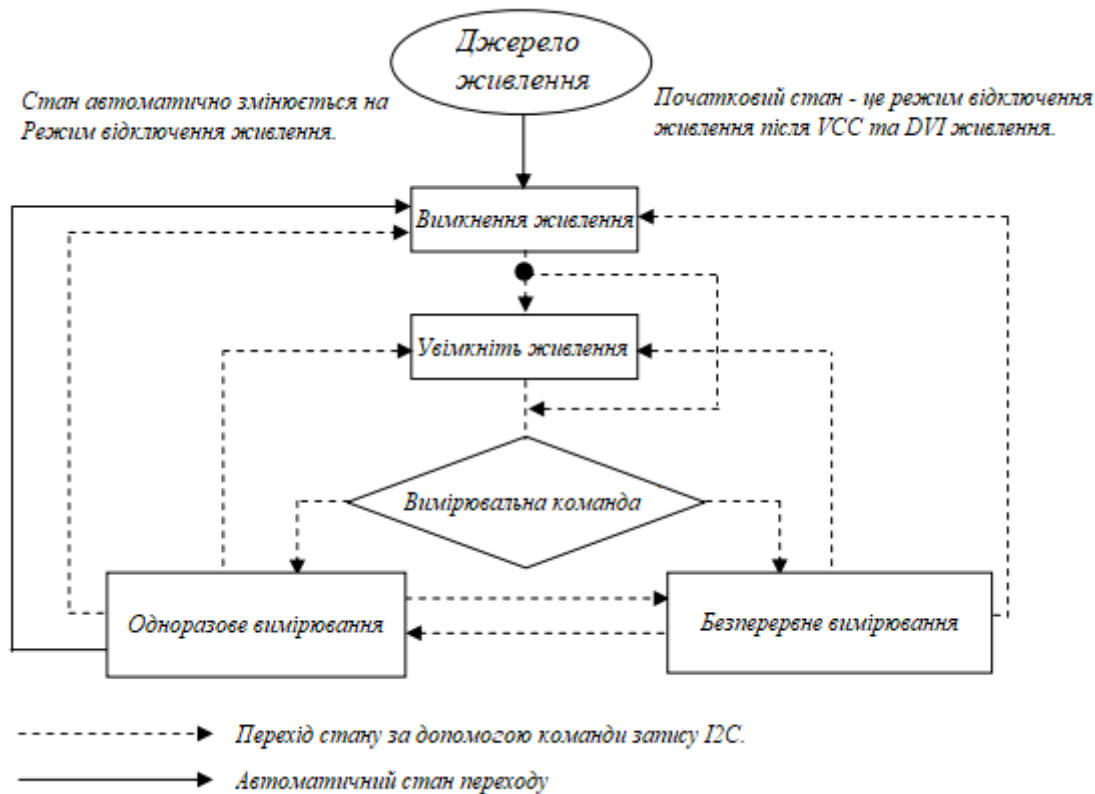


Рисунок 5.3 Алгоритм роботи ВН1750

5.3.4 Режими вимірювання ВН1750

Цифровий люксметр ВН1750 має декілька режимів вимірювання, які змінюються за допомогою програмного коду який завантажується до мікроконтролера.

Таблиця 2 Опис режимів вимірювання

Режим вимірювання	Код операції	Опис режиму
Continuously H-Resolution Mode	0001_0000	Початок вимірювання з роздільною здатністю 1 lx. Час вимірювання зазвичай становить 120 мс.
Continuously H-Resolution Mode2	0001_0001	Початок вимірювання з роздільною здатністю 0,5 lx. Час вимірювання зазвичай становить 120 мс.
Continuously L-Resolution Mode	0001_0011	Початок вимірювання з роздільною здатністю 4 lx. Час вимірювання зазвичай становить 16 мс.
One Time H-Resolution Mode	0010_0000	Початок вимірювання з роздільною здатністю 1 lx. Час вимірювання зазвичай становить 120 мс. Після вимірювання він автоматично встановлюється в режим відключення живлення.
One Time H-Resolution Mode2	0010_0001	Початок вимірювання з роздільною здатністю 0,5 lx. Час вимірювання зазвичай становить 120 мс. Після вимірювання він автоматично встановлюється в режим відключення живлення.
One Time L-Resolution Mode	0010_0011	Початок вимірювання з роздільною здатністю 4 lx. Час вимірювання зазвичай становить 16 мс. Після вимірювання він автоматично встановлюється в режим відключення живлення.

Рекомендується використовувати H-Resolution Mode.

Час вимірювання (час інтегрування) H-Resolution Mode настільки велике, що деякі види шуму (в тому числі в 50 Гц / 60 Гц шум) відхиляються. А режим H-Resolution Mode – має роздільну здатність 1 lx, тому він підходить

для темряви (менше 10 lx) H-resolution mode2 також підходить для вимірювання в темряві.

5.4 Графік часу для послідовності живлення VCC та DVI

Графік синхронізації для послідовності живлення VCC та DVI є опорним напругою шини I2C шини.

І це також термін асинхронного скидання. Потрібно встановити "L" після використання VCC. У терміні DVI 'L' внутрішній стан встановлюється в режим відключення живлення.

- Рекомендована діаграма хронометражу для постачання VCC та DVI.

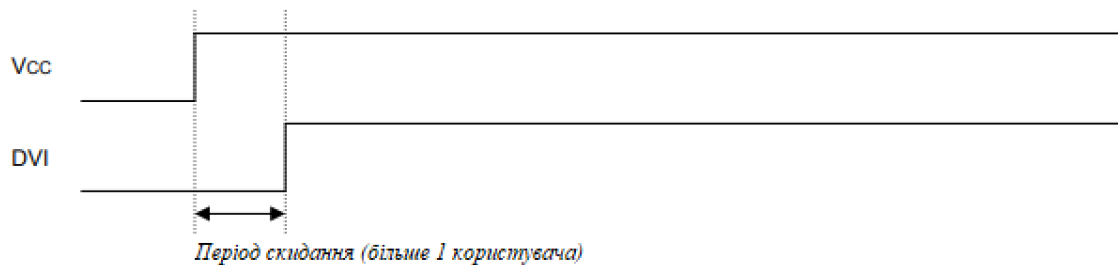


Рисунок 5.4 Графік часу для подачі VCC та DVI

- Графік часу для подачі VCC та DVI. (Якщо DVI піднімається протягом 1 мкс після подачі VCC)

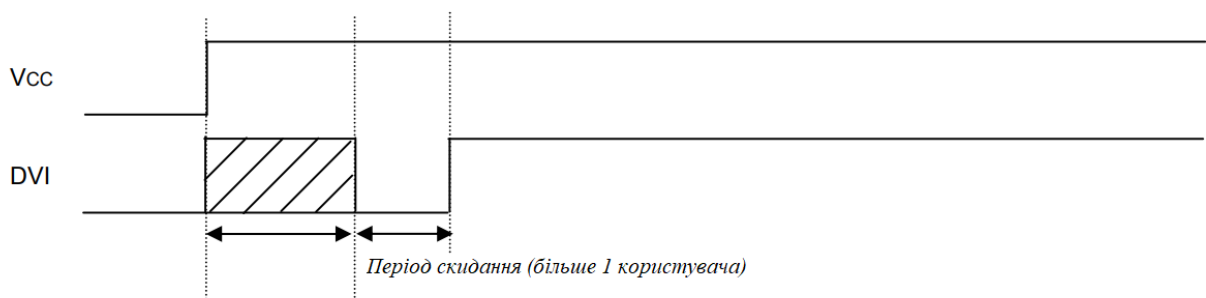


Рисунок 5.5 Графік часу для подачі VCC та DVI

6. Розрахункова частина

6.1 Відносна похибка АЦП

За допомогою вимірювального приладу, оснащеного АЦП, було виконано одноразове вимірювання напруги в електронній схемі.

Характеристика основної відносної похибки аналого-цифрового перетворювача (АЦП) нормована двочленною формулою:

$$\gamma_{\text{INST}} = \pm \left[c + d \left(\frac{U_{\text{max}}}{U} - 1 \right) \right]$$

Де:

- γ_{INST} – відносна похибка результату вимірювання, %;
- U_{max} – межа вимірювання АЦП;
- U – результат однократного вимірювання, $U=2.4 \text{ V}$;
- $c = 2.5$;
- $d = 1,0$;

Межі основної відносної похибки АЦП можуть бути унормовані двочленною формулою, в даному випадку:

$$|\gamma_{\text{INST}}| \leq 1 + 0,5 \left(\left| \frac{50}{26} \right| - 1 \right) \Rightarrow |\gamma_{\text{INST}}| \leq 1 + 0,5 \left(\left| \frac{50}{26} \right| - 1 \right) \Rightarrow |\gamma_{\text{INST}}| \leq 1,46$$

Межа відносної похибки результату вимірів:

$$|\gamma_{\text{INST}}| = \pm 1,46\%$$

6.2 Абсолютна похибка АЦП

Межа абсолютної похибки результату вимірів:

$$\Delta_{\text{INST}} = \frac{\gamma_{\text{INST}} \times X}{100}$$

$$\Delta_{\text{INST}} = \frac{\gamma_{\text{INST}} * x}{100} = \frac{1.46 * 26}{100} = 0,379$$

7. Розробка метрологічного забезпечення

7.1 Методика повірки датчика ВН1750 для Arduino

Ця методика розповсюджується на вимірювальний прилад вологості (рН), Методика відповідає вимогам Метрологія. Люксметри фотоелектричні. Методика повірки (калібрування) та ДСТУ 7267:2012.

7.1.1 Позначки та скорочення

лк – люкс

А - ампер

ЗВТ – засіб вимірювальної техніки

7.2 Операції повірки

Таблиця 3 Операції повірки

Найменування операції повірки	Номер пункту методики	Проведення операції під час періодичної (позачергової) повірки	Проведення операції під час повірки після ремонту
Зовнішній огляд	8.2.1	+	+
Перевірка працездатності	8.2.2	+	+
Визначення метрологічних характеристик фотометрів фотоелектричних	8.2.3	+	+
Люксметрів	8.2.4	+	+

У разі отримання негативних результатів будь-якої з операцій повірка припиняється, фотометр фотоелектричний: люксометр, яскравомір, пульсметр визнається не придатним до застосування.

7.3 Засоби повірки

Засоби повірки повинні відповідати вимогам ДСТУ OIML D 8 "Метрологія. Еталони. Вибір, визнання, застосування, зберігання та документація" та ДСТУ OIML D23 "Метрологія. Принципи метрологічного контролю обладнання для повірки".

Засоби повірки повинні мати чинні свідоцтва про повірку або сертифікати/свідоцтва про калібрування.

Перелік еталонів, засобів повірки та допоміжного обладнання, а також операції повірки (пункти цього стандарту), під час яких їх застосовано, зазначено в Таблиці 8.2 та Таблиці 6.2.

Таблиця 4 Еталони, необхідні для проведення повірки

Пункти методики	Назва еталона, метрологічні характеристики
11.3.1.1.2	Установка для визначення інтегральної чутливості люксометрів та світловимірювальна лампа (1 – 1500) кд, або фотометр фотоелектричний (люксометр, фотометрична головка) (2 – 1000) лк, $U=0,6\%$, $k=2$
11.3.1.2.4	Установка для визначення діапазону вимірювання люксометрів, стабільність не гірше ніж 10^{-3}
11.3.2.1.1	Установка для визначення інтегральної чутливості яскравомірів з допомогою молочного скла, фотометр фотоелектричний (люксометр, фотометрична головка) (2 – 1000) лк, $U=0,6\%$, $k=2$
11.3.2.1.1	Установка для визначення інтегральної чутливості з фотометричної сфери, фотометр фотоелектричний (люксометр, фотометрична головка) (2 – 1000) лк, $U=0,6\%$, $k=2$

Дозволяється застосування інших еталонів та засобів повірки, що забезпечують повірку з необхідною точністю.

Таблиця 5 Засоби повірки, допоміжне обладнання, необхідні для проведення повірки

Пункти стандарту	Засоби повірки, допоміжне обладнання, метрологічні або основні технічні характеристики
8	термометр з невизначеністю вимірювання температури $\pm 1,0$ °C у діапазоні від 0 °C до 50 °C
8	гігрометр з невизначеністю вимірювання відносної вологості ± 7 %, або менше, у діапазоні від 39 % до 90 %, або більше
8	барометр з невизначеністю вимірювання тиску $\pm 1,0$ кПа у діапазоні від 50 °C до 120 °C, або більше

Еталони та допоміжні засоби повірки, які застосовуються під час проведення повірки, повинні бути калібровані з дотриманням рекомендованих міжкалібрувальних інтервалів та мати документи, що підтверджують результати їх калібрування.

Дозволяється застосування інших еталонів та засобів повірки, що забезпечують повірку з необхідною точністю.

7.4 Умови проведення повірки

Під час проведення повірки повинні виконуватися такі умови:

- Температура приміщення, у якому проводять повірку, повинна бути в границях від $(15 \pm 0,5)$ °C до $(25 \pm 0,5)$ °C;
- Відносна вологість повітря в приміщенні, де проводять повірку, повинна бути в границях від 25 % до 75 %.
- Атмосферний тиск у приміщенні, де проводиться повірка має бути в границях 84 кПа до 106,7 кПа.
- Напруга живлення мережі (220 ± 22) В і частота мережі (50 ± 1) Гц.

- Зміна температури за час повірки фотометрів фотоелектричних не повинна перевищувати 3 °С.

Під час проведення повірки на місці експлуатації повинні виконуватись такі умови:

- Забороняється розміщення зовнішніх магнітних і електричних полів, які можуть впливати на ЗВТ.
- ЗВТ, використовувані під час повірки, повинні мати паспорти або тавра, що підтверджують їх придатність, з позначенням дати останньої повірки або калібрування.

7.5 Вимоги щодо безпеки

7.5.1 Під час проведення повірки необхідно дотримуватися вимог щодо безпеки умов праці, охорони навколишнього середовища, наведених в експлуатаційних документах на фотометри фотоелектричні: люксметри, яскравоміри, пульсметри та засоби повірки.

7.5.2 Процес проведення повірки на місці експлуатації не належить до робіт зі шкідливими або особливо шкідливими умовами праці.

7.6 Підготовка до проведення повірки

Перед проведенням повірки необхідно:

- Пересвідчитись у наявності метрологічного маркування за результатами оцінки відповідності для тих фотометрів фотоелектричних, що введені в обіг після введення технічного регламенту [6] або свідоцтва про попередню повірку, відбитка повірочного тавра тощо;
- Перевірити комплектність необхідними допоміжними пристроями, що подаються на повірку разом з фотометром фотоелектричним а саме: блок живлення, головка фотометрична, експлуатаційні документи;

- Перевірити наявність документів, що підтверджують результати калібрування еталона та повірки чи калібрування допоміжних засобів повірки; для яскравоміра або фотометричної головки яскравоміра перевірити наявність в документації ефективного кута відбору яскравоміра або фотометричної головки яскравоміра, якщо такої характеристики не надано, прилад не можна вважати зразком вимірювальної техніки;
- Очистити приймальну поверхню фотометрів від плям і пилу;
- Підготувати еталон та допоміжні засоби відповідно до їх експлуатаційних документів

7.7 Методика проведення повірки

7.7.1 Зовнішній огляд

Зовнішній огляд проводять візуально

7.7.2 Результати вважаються задовільними, якщо під час зовнішнього огляду встановлено:

- комплектність приладу (ВП, електроди, з'єднувальні дроти).
- відсутність зовнішніх пошкоджень, які заважають нормальному функціонуванню приладів.
- відсутність зовнішніх пошкоджень фотометру фотоелектричного.

7.8 Перевірка працездатності

7.8.1 Перед проведенням повірки необхідно забезпечити наявність заземлення для всіх засобів повірки згідно з експлуатаційними документами на них.

					ВМ61-1.201111.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

7.8.2 Для перевірки працездатності здійснюють такі операції:

- Підготувати прилад, що повіряється, до роботи відповідно до вимог експлуатаційних документів.
- Фотометричну головку, що повіряють, з'єднати з реєструвальним пристроєм.
- Включити прилад відповідно до вимог експлуатаційних документів.
- Освітити прилад випромінюванням і перевірити наявність індикації цифрового приладу або працездатність аналогового. Яскравомір направити на поверхню, що сама світиться (наприклад екран монітора ПК) і перевірити наявність індикації приладу.
- Перевірити можливість установки нульових показів при закритому від зовнішнього засвічування приладі.

Результати перевірки вважаються задовільними, якщо виконано вимоги пункту 9.8.2 цієї методики.

					ВМ61-1.201111.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

7.9 Визначення метрологічних характеристик

7.9.1 Повірка робочих ЗВТ – люксометрів і фотометричних головок люксометрів.

7.9.2 Визначення інтегральної чутливості люксометра (фотометричної головки).

7.9.2.1 Повірку виконують на установці, структурна схема якої наведена на рисунку 8.1. Повірку виконують за допомогою робочих еталонів – світловимірювальних ламп, люксометрів або фотометричних головок.

7.9.2.2 Помістити люксометр або головку люксометра на оптичну вісь і включити установку та люксометр відповідно до вимог їх експлуатаційної документації. Відстань від джерела до люксометра або головки люксометра повинна бути більшою ніж 10 максимальних розмірів джерела світла.

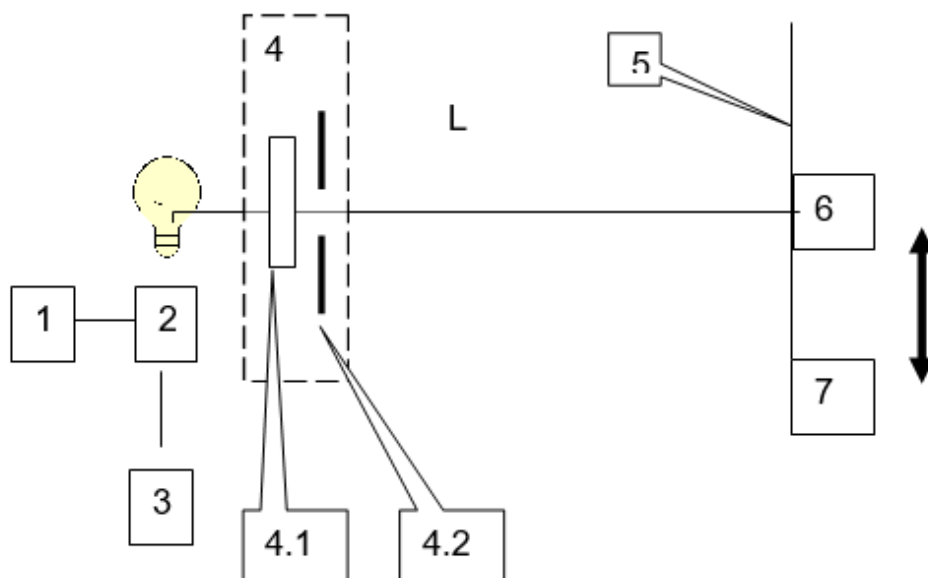


Рисунок 7.1 Установка для визначення інтегральної чутливості люксометрів

1 - блок живлення джерела випромінювання; 2 - джерело випромінювання типу А (лампа розжарювання) або світловимірювальна лампа (еталон); 3 - електровимірювальний прилад для контролю режиму джерела випромінювання; 4 – для установок УПФ, УПЛ-1М та інших: 4.1 – розсіювач та 4.2 - діафрагма перемінного розміру, для фотометричної лави не обов’язкові; 5- площа, для якої визначено освітленість E_o ; 6 - люксометр (еталон) (для повірок та градування за допомогою світловимірювальних ламп на фотометричній лаві необов’язково); 7- люксометр або головка фотометрична люксометра.

7.9.2.3 У разі виконання повірки за допомогою люксометра ввести на оптичну вісь установки еталон (люксометр) і, змінюючи тип лампи та відстань між лампою та люксометром (для фотометричної лави) або регулюючи діафрагму (для установок УПФ, УПЛ), одержати значення освітленості E_o в діапазоні від 50 лк до 200 лк. Зафіксувати значення E_o . Зафіксувати площину, в якій визначено зазначені покази.

7.9.2.4 Ввести люксометр або фотометричну головку, що повіряються, на оптичну вісь установки і, якщо люксометр проградуєвано за освітленістю, зняти покази приладу E_o в люксах. Якщо фотометрична головка або люксометр прокалібрований в інших одиницях (А), зняти покази приладу Γ^i в одиницях А.

7.9.2.5 Обчислити значення інтегральної чутливості люксометра або фотометричної головки, що повіряють, $S^i_{E_o}$ в одиницях А/лк за формулою:

$$S^i_{E_o} = \Gamma^i / E_o,$$

Для люксометра або фотометричної головки, яку прокалібровано за освітленістю, обчислити відношення:

$$N^i_{E_o} = E^i / E_o,$$

де E^i – освітленість при i – му вимірюванні, лк.

					ВМ61-1.201111.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Провести вимірювання інтегральної чутливості ще 4 рази. Обчислити середнє значення інтегральної чутливості за формулами:

$$\overline{S_{E_o}} = 1/n \sum_{i=1}^5 S_{E_o}^i, \quad n=5$$

$$\overline{N_{E_o}} = 1/n \sum_{i=1}^5 N_{E_o}^i, \quad n=5$$

де $\overline{S_{E_o}}$ – середнє значення інтегральної чутливості;

$\overline{N_{E_o}}$ – середнє значення відношення значень освітленості.

7.9.2.6 Під час повірки одержане значення інтегральної чутливості люксметра або фотометричної головки S_{E_o} в одиницях А/лк не повинно відрізнятися від відповідного значення в експлуатаційних документах більш ніж на $\pm 12 \%$.

Для проградуйованого за освітленістю люксметра похибка δ_E , обчислена у відсотках за формулою $\delta_E = (\overline{N_{E_o}} - 1) \cdot 100\%$, не повинна перевищувати 12 %.

7.9.2.7 Результатами градуювання в діапазоні від 50 лк до 200 лк

вважають значення $\overline{S_{E_o}}$ або $\overline{N_{E_o}}$.

7.9.3 Визначення діапазону вимірювання люксметра та фотометричної головки.

7.9.3.1 Якщо обладнання, що використовується під час повірки, дозволяє одержувати освітленість в границях, зазначених в технічній документації до люксметра або фотометричної головки, що повіряють, проводять повірку в усіх діапазонах приладу згідно з 11.3.1.1 (визначення інтегральної чутливості), похибку нелінійності не вимірюють.

7.9.3.2 Розрахувати середні S_E^j та N_E^j для кожного діапазону вимірювання j . Розрахувати (в процентах) $\Delta_{Ej} = (\overline{S_E^j} - \overline{S_{E_o}}) / \overline{S_{E_o}} \cdot 100\%$, $\Delta_{Nj} = (\overline{N_E^j} - \overline{N_{E_o}}) / \overline{N_{E_o}} \cdot 100\%$.

Похибкою нелінійності Δ_E або Δ_N вважають максимальну з цих величин. Якщо Δ_{Ej} або Δ_{Nj} в якомусь діапазоні перевищують 12 % діапазон вважають непридатним для використання.

7.9.3.3 У випадку, коли за допомогою обладнання, що використовують під час повірки, не можна одержати освітленість в межах, зазначених в документації до люксметра або фотометричної головки, для визначення діапазону вимірювання використовують метод визначення нелінійності шляхом складання довільних сигналів. Для цього потрібно мати обладнання за схемою, яку надано на рисунку 8.2

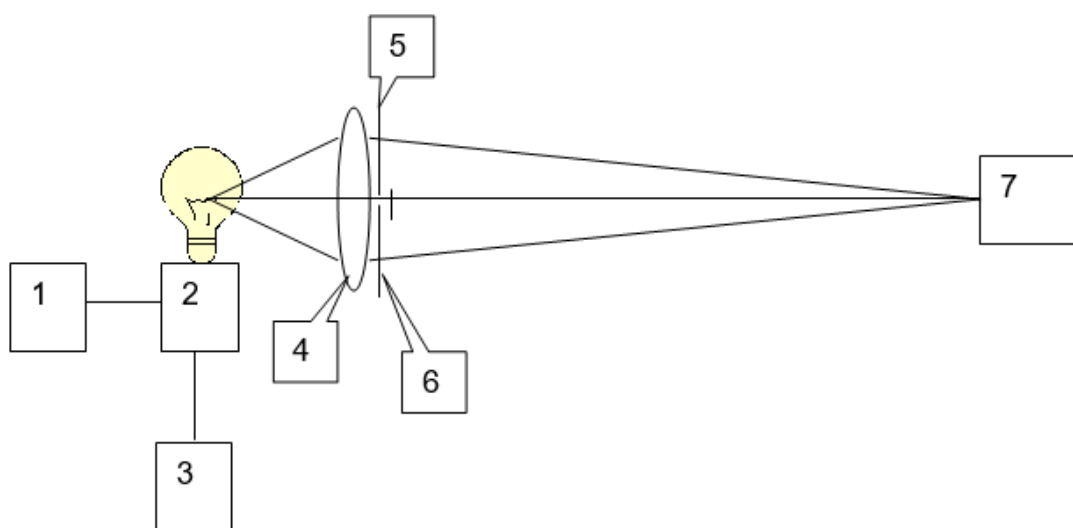


Рисунок 7.2 Установка для визначення діапазону вимірювання люксметрів
 1 - блок живлення джерела випромінювання; 2 - джерело випромінювання типу А (лампа розжарювання); 3 - електровимірювальний прилад для контролю режиму джерела випромінювання; 4 - об'єктив, який фокусує світловий потік від лампи на люксметр або головку фотометричну, формуючий паралельний світловий пучок; 5,6 - затвори; 7- нерухома смужка, яка перекриває межу зіткнення затворів 5 та 6; 8—люксметр, що повіряється.

7.9.3.4 За допомогою фокусування об'єктива та вибору режиму лампи при відкритих затворах отримати покази люксметра або фотометричної головки I_{12}^0 в діапазоні вимірювання від 50 лк до 200 лк. Закрити люксметр. При відкритому затворі 5 та закритому затворі 6 отримати покази люксметра або фотометричної головки I_1^0 . Закрити люксметр. При відкритому затворі 6 та закритому затворі 5 отримати покази приладу I_2^0 . Закрити люксметр. Покази приладів I_1^0 та I_2^0 повинні відрізнятися не більше ніж в 1,5 рази. При відкритих затворах знову отримати покази люксметра або фотометричної головки I_{12}^0 . Закрити люксметр. Упевнитися, що джерело стабільне, тобто величина I_{12}^0 така сама, як була. Занести I_{12}^0 I_1^0 I_2^0 I_{12}^0 до протоколу. Після кожного вимірювання необхідно закривати приймальну поверхню люксметра або фотометричної головки від випромінювання на термін вдвічі більший, ніж термін вимірювання. Розрахувати нелінійність $NL(I_{12}^0/2)$ у відсотках за формулою:

$$NL(I_{12}^0/2) = (I_{12}^0 - I_1^0 - I_2^0) / (I_{12}^0/2).$$

7.9.3.5 Провести вимірювання ще 4 рази. Отримати набір з 5 величин $NL_i(I_{12}^0/2)$. Розрахувати середнє $NL_{cp}(I_{12}^0/2)$ за формулою:

$$NL_{cp}(I_{12}^0/2) = 1/n \sum_{i=1}^n NL_i(I_{12}^0/2),$$

де n — кількість незалежних вимірювань.

7.9.3.6 Провести вимірювання за 8.8.3.4 – 8.8.3.5 цього стандарту для максимального діапазону вимірювання приладу $NL^{\text{макс}}_{\text{ср}}$. Зменшити покази люксметра або фотометричної головки приблизно в 2 рази та повторити вимірювання. Повторювати процедуру зменшення показань приладу та розрахунку нелінійності до найменшого діапазону. Отримати набір нелінійності $NL^i_{\text{ср}}$ для кожного з діапазонів. Занести $NL^i_{\text{ср}}$ в протокол. Похибкою нелінійності Δ_E (для всього приладу, який проградуєнтовано за освітленістю) або Δ_N (для всього приладу, який проградуєнтований в довільних одиницях) вважати максимальну з цих величин. Занести Δ_E або Δ_N в протокол. Якщо величина NL для рівня, який більший (менший) за $I^0_{12}/2$ перевищує 12 %, то цей рівень, а також всі рівні, які більші (менші) вважати непридатними для застосування.

					ВМ61-1.201111.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Додаток А

Використані джерела інформації

1. Освітня система <http://moodle.ipk.kpi.ua/moodle/course/view.php?id=700>
2. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. Высшая школа. Киев. 1983 г.
3. Усатенко С.Т. , Каченюк Т.К., Терехова М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД. Справочник. Издательство стандартов. Москва. 1989 г.
4. Довідники, каталоги та інтернет-ресурси сучасних мікросхем
5. Бойко В.А., Клименко Ю.В., Корнейчук В.И. Курсовые и дипломные проекты. Требования к оформлению документации. –К.Корнійчук, 2003,–176с.
6. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні положення, назви та позначення.
7. Методика поверки [електронний ресурс] - <http://metrology.com.ua/>
8. Класифікація методів вимірювання [електронний ресурс] - <http://metrology.com.ua/metrologiya-nauka/113-sit-i-izmereniya/1056-klassifikatsiya-metodov-izmerenij>
9. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы. Высшая школа. Киев. 1986 г – 415с.
- 10.Електронні компоненти [електронний ресурс] - <http://rcmarket.ua/>
- 11.Орнатский П.П. «Автоматические измерения и приборы». Высшая школа. Киев. 1986 г.
- 12.Справочники и каталоги иностранных, и отечественных элементов.
- 13.Новицкий «Оценка погрешностей измерений»
- 14.http://ecount.com.ua/artikle_103.html
- 15.<http://habrahabr.ru/post/209738/>
- 16.http://www.vmedaonline.narod.ru/Chapt06/App_41.html
- 17.<http://www.digitalvideo.ru/archiv/018/1807.htm>

18. <http://www.densurka.ru/node/958>
19. http://www.dvfu.ru/ifu/~thnucl/Gen_phys/lecture10_1.pdf
20. <http://www.myshared.ru/slide/86892/#>
21. <http://prom-sn.ru/spravochnaya-informatsiya/spravochnaya-informatsiya/tablitza-normy-osveshchyennosti.html>
22. <https://www.arduino.cc/>

					<i>BM61-1.201111.001 ПЗ</i>	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Приладобудівний факультет

Кафедра інформаційно-вимірювальної техніки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

Освітньо-професійна програма «Метрологія та вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир, ЄРЕМЕНКО

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Грижак Андрій Петрович

1. Тема проєкту «Цифровий люксометр з системою позиціонування», керівник проєкту Мокійчук Валентин Михайлович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проєкту 15 червня 2020 року

3. Вихідні дані до проєкту

Освітленість

4. Зміст пояснювальної записки

Вступ

Технічне завдання

Розробка структурної схеми та опис її роботи

Розробка принципової електричної схеми та алгоритму роботи

Розробка функціональної схеми

Метрологічне забезпечення

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

Структурна схема

Схема електрична функціональна

Функціональна схема

6. Дата видачі завдання 05 лютого 2020 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Дослідження проблемного об'єкту	25.02.2020	
2	Розробка та затвердження технічного завдання	05.03.2020	
3	Розробка структури виробу	20.03.2020	
4	Розробка функціональної схеми виробу	10.04.2020	
5	Розробка схем принципів окремих модулів	20.04.2020	
6	Розрахунки показників якості виробу	10.05.2020	
7	Висновки	20.05.2020	
8	Оформлення дипломного проекту	25.05.2020	

Студент

Андрій, ГРИЖАК

Керівник

Валентин, МОКІЙЧУК